

개발도상국 중국의 하수처리장 운영·관리능 평가

김연권·문용택·김홍석·김지연
한국수자원공사·수자원연구원

O&M Evaluating for Sewage Treatment Plants in China as a Developing Country

Kwon-Youn Kim · Yong-Taik Moon · Hong-Suck Kim · Ji-Yeon Kim
Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

Abstract

For the last 20 years, China has transformed itself from a rural economy into an industrial giant, averaging over 8 % annual growth of GDP. Unfortunately, this rapid growth has taken a significant toll on its natural resource base as well, particularly water resources. These problems have been exacerbated by a low level of sewage treatment technology and by the operating and maintenance (O&M). In case of urban areas, most big cities in China have a well functioning sewage system comprised of sewers and sewage treatment plants (STPs). Nevertheless, the existing STPs are still not capable of properly treating the sewage, both quantitatively and qualitatively. The rural areas in China cover a large land, with two-third of the nation's population. The low educational and poor economic states make it hard to process self-protection and management. In the surveyed area in Henan, there was no STPs put into use as of 2004, and the sewer lines are not well organized. The big issue for the currently planned STPs is the collection system not included in the plans.

Key words : China, Sewage Treatment Plants(STPs), Urban, Rural

*Corresponding author E-mail : 201commando@hanmail.net

I. 서론

급속한 산업발전과 인구증가로 인해 증대되고 있는 개발도상국에서의 환경오염과 위생문제는 더 이상 지역적·국부적 문제가 아니라 전 지구적 차원에서의 관심과 문제해결방안의 마련을 필요로 하는 사안이 되었다. 빠른 국가발전 속도에 비해 부적절한 하수도 시스템과 하수처리장의 미비로 인해 야기되는 다양한 위생문제들의 대부분은 개발도상국에서 심각하게 일어나고 있는 실정이다. UNEP와 수자원연구원의 공동연구보고서에 따르면, 아시아 지역은 인구의 54 %가 정상적인 하수관리 시스템을 이용하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 아시아 지역의 하수시스템 미 보급율은 도시지역의 경우 인구대비 26 % 수준을 나타내는 반면 농촌을 포함한 비도시 지역은 약 69 %가 하수처리시스템이 없는 것으로 나타났다. 특히, 중국은 인도, 베트남 등과 함께 아시아지역에서 가장 빠른 경제성장과 다양한 환경 및 위생문제 노출되어 있는 국가로서 장기적인 계획과 대안마련이 필요한 국가이다¹⁾. 2002년 중국사회과학원의 보고서에서는 향후 50년간 중국의 생활 및 산업용수 수요는 8천억톤/년(60 % 이상) 증가 할 것으로 예측하고, 현재의 물 공급능력을 2010년까지 25 % 증대시켜야 한다고 밝히고 있다. 이와 같은 요구에 대해 중국정부는 하수처리장 건설의 확대에 따른 방류수 및 중수도 기술에 대한 많은 관심을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 중국은 광대한 국토 면적으로 인해 지역별 기후, 문화, 인구, 경제

구조가 매우 상이하여 특정목적에 부합하는 기술의 도입이 매우 어려운 현실이다. 즉, 획일적인 기술도입 보다는 다양한 지역적 특성을 고려해야 당초 기대했던 결과를 얻을 수 있는 특징을 가지고 있다. 2008년 올림픽 유치를 대비하여 중국 정부는 환경문제에 대한 시급성을 인식하고 장래 수질오염 가중과 물 부족 심화에 대비한 상수도 수 처리시설 및 중수도 시설의 확충에 노력하고 있다. 이와 같은 노력에도 불구하고 기 설치된 하수처리시설들은 대상지역의 발생하수를 전량 처리하지 못하고 있으며 전문 인력과 기술적 노하우의 부족으로 당초 기대치에 미치지 못하는 처리효율을 갖는 것으로 보고되고 있다²⁾. 본 연구는 중국 내 하수처리장 현지조사와 공정에 대한 기술 분석 및 평가를 통해 중국 도심지와 농촌지역에 건설된 하수처리장과 해당 공법의 적정 운영관리여부와 해당 하수처리장의 문제점 및 개선을 위한 기술적 제안을 하고자 한다.

II. 조사방법

1. 조사지역 선정 및 하수도 현황분석

중국의 위생 및 환경관련 시설들은 수도인 '북경'과 '상해' 등 발달된 도시지역을 중심으로 비교적 잘 구축이 되어 있으므로, 이번 연구에서는 상대적으로 성장 잠재력이 높은 중·남부지역에 대한 하수처리장 현황조사와 기 설치되어 있는 하수처리장의 기술진단을 실시하였다.



Fig. 1. Research areas in China

그림 1에서 보는 바와 같이, 문헌조사와 현지조사를 통해 조사지역으로 선정된 해당지역은 난징과 허난, 선양 등 중남부로부터 북부 지역에 이르는 도심과 비도심 지역을 대표로 선정하였다. 중국 전역에 설치·운영 중인 하수처리장의 현황은 다음 표 1과 같다. 중국 대부분 지역에서 하수처리단가는 약 1.3~1.4 RMB/톤으로 원화로 환산하면 약 150~180원/톤이 되는데, 이는 2003년 기준 국내평균 66.1원/톤에 비해 다소 높은 것으로 판단되었다.

Table 1. Status of urban STPs status in China (2002)

Region	Number of STPs	Treatment capacity (10,000 m ³ /d)	Length of sewerage pipeline (km)
China	423	2344	173,042
Shanxi	10	45	2,689
Inner Mongolia	19	40	3,561
Liaoning	11	136	8,880
Jilin	6	91	4,466
Heilongjiang	5	11	5,282
Shanghai	27	95	4,001
Jiangsu	53	223	16,744
Zhejiang	28	228	12,183
Anhui	9	50	5,007
Fujian	17	63	3,992
Jiangxi	1	8	2,392
Shandong	56	332	15,257
Henna	19	130	7,188
Hubei	11	52	8,181
Hunan	7	57	4,090
Guangdong	32	282	18,245
Guangxi	7	31	3,329
Hainan	5	39	2,833
Chongqing	6	14	2,671
Sichuan	11	73	7,203
Guizhou	3	14	1,904
Yunnan	14	47	2,277
Shanxi	3	16	1,940
Gansu	8	25	2,310
Qinghai	1	2	458
Ningxia	3	13	579
Xinjiang	17	74	2,261

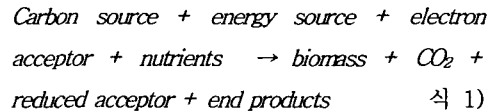
난정시는 장수성의 중심도시로서 양쯔강 주변에 위치하고 있어 과거 오나라로부터 명·청에 이르기까지 수많은 고대국가의 도읍지가 되었으며, 약 20년 전부터 활성화된 화학·기계·철강 등의 공업화로 인해 최근에는 장수성 최대의 공업도시로 성장했다. 현재 난정시에는 약 390만의 인구가 거주하고 있으며 총 700만의 인구가 난정시 주변지역에 살고 있다. 난정시는 크게 구도시 지역과 서남부에 조성 중인 신도시 지역인 상업지역으로 나눌 수 있다. 구 도시지역은 합류식 하수관거 시스템이 적용되어 있고 신도시 지역은 분류식으로 계획되어 있다. 심양시는 요령성의 수도로써 약 261km²의 면적을 가지고 있으며 행정구역상 5개의 구로 구성되어 있다. 심양시는 하수처리를 위한 배수유역을 분류함에 있어 크게 북부와 남부 그리고 서부지역으로 삼분할 할 수 있다. 북부지역에는 여러 학교들과 각종 문화시설이 위치가 위치하고 있으며, 구도심가와 상업 및 주거지역이 위치한 남부, 그리고 조선족 밀집지역인 서탑가와 심양시 경계에 대규모로 조성된 서부지역으로 구분할 수 있다. 이들 지역의 하수배제방식은 대부분의 구도심지역의 하수배제방식에 적용되었던 합류식이 채택되어 있으나 구도심가의 남동부 지역은 새로운 도시개발 지역으로 구분되어 분류식이 적용될 예정이다. 난정시 남쪽으로 약 1시간 반 가량 떨어진 가오춘 지역은 양쯔강 상류에 위치한 위성도시로써 불과 20년전만 해도 대부분이 늪과 호수로 구성된 지역이었다. 이후 수로정비와 간척사업 등으로 새로이 조성된 도심지에 약 1~1.5만이 거주하고 있으며, 아직까지 도시규모에 비해 인구와 교통량이 비교적 적은 편이다. 가오춘 지역에 적용된 하수배제 시스템은 합류식과 분류식이 혼용되어 있는 형태로 메인 도로를 중심으로 분류식 하수배제 시스템이 채택되어

있다.

2. 미생물을 이용한 생물학적 하수처리

2.1 생물학적 유기물 제거

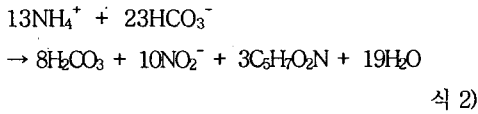
미생물의 가수분해를 무시할 수 있다면, 하수내 기질인 탄소원의 유일한 이용은 종속 영양 미생물의 성장뿐이다. 따라서, 미생물 성장에 대한 화학양론적 공식이 기본적으로 기질에 따라 쓰여진다면, 미생물 관련 화학양론적 상수는 미생물의 순수한 성장 yield로 나타낼 수 있다.



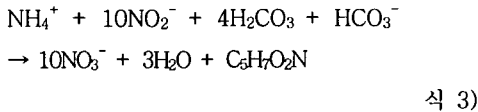
2.2 생물학적 영양염류 제거

하수내 질소성분의 제거는 질산화(nitrification) 공정과 탈질소화(denitrification) 과정을 순차적으로 진행하며 이루어진다. 질산화는 암모니아성 질소가 질산성 질소로 변해 가는 과정을 말하며, 이것은 독립영양반응으로 미생물이 성장에 필요한 에너지를 주로 암모니아 산화로 얻는다. 질산화미생물은 세포합성에 있어서 유기탄소가 아니라 무기탄소인 이산화탄소를 이용하며, 일반적으로 단위기질당 세포 증식은 종속영양생물에 비해 작다. 일반적으로 질산화에는 *Nitrosomonas*와 *Nitrobacter* 두 가지 박테리아 속이 관여한다. *Nitrosomonas*는 암모니아를 중간물질인 아질산성질소로, 아질산성 질소는 *Nitrobacter*에 의해 질산성 질소로 바뀌게 된다. 질산화조에서 아질산성 질소의 축적이 일어나지 않는 것을 통해 전체 질산화 단계의 속도를 결정하는 것은 아질산성 질소로 가는 반응이다. 질산화 반응은 다음 식(2) 3)과 같다.

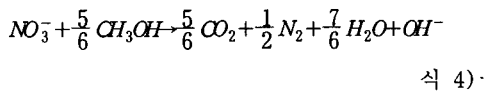
Nitrosomonas :



Nitrobacter :



질산화의 후속공정인 탈질소화 공정은 질산성 질소와 아질산성 질소를 전자수용체로 이용하여 산업하수내 유기물, 메탄올, 에탄올, 아세트산 등 다양한 탄소원을 이용한 미생물 증식과정으로 정의할 수 있다³⁾. 일반적으로 사용되는 메탄올이 탄소원이 되었을 때의 Nitrate의 반쪽반응식과 메탄올의 반쪽반응식은 다음 식 4)와 같이 정리할 수 있다.



위 식에 의하면 1g의 질산성 질소를 환원 시키는데는 1.9 g의 메탄올(2.86 g COD)이 필요함을 알 수 있다.

생물학적 인 제거 공정은 활성슬러지를 혐기상태와 호기 상태를 연속적으로 만들어 줌으로서 이루어진다⁴⁾. 이러한 혐기·호기조건을 만들어 주는 것은 공정 내 혐기성 조건에서 미생물 내부에 Poly-P를 축적하는 미생물을 우점화 시켜주거나, 호기성 조건에서 인 과잉 섭취에 의해 슬러지내에 축적되는 Phosphorus 함유량을 높이고 이러한 상태에서 잉여슬러지를 폐기함으로써 높은 인제거 효율을 얻을 수 있게 된다⁵⁾.

3. 하수처리장 특성 및 공법기술진단

3.1 하수처리장 특성비교

난징시 하수 처리율은 약 65 %로 장진 조우 (64만톤) 하수처리장, 북부시 (20만톤) 하수처리장, 쉬징춘 (20만톤) 하수처리장, 지양린 (10만톤, 현재 건설 중) 하수처리장 등 4개의 하수처리장을 가지고 있다. 이렇게 처리된 하수처리 방류수는 양쯔강으로 방류되고 있으며, 이들 하수처리장의 대부분은 최근 건설·운영되기 시작한 시설들로써 고도처리공법이 도입되어 있었으며 대규모 하수처리장의 경우에는 운영·관리 수준이 비교적 양호한 것으로 판단되었다. 특히, 2003년부터 운영을 시작한 '장진 조우' 하수처리장 A₂O 공법의 하수처리장으로서 현재 A/O 공법으로 운전 중인 1단계 (40만톤) 시설과 A₂O 공법으로 건설 중인 2단계 (24만톤) 시설로 구성되어 있다.

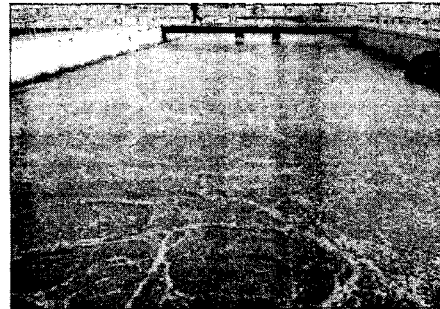


Fig. 2. Aerobic basin in Jiang Xin Zhou STP

심양시는 남부지역에서 발생하는 하수처리를 위해 오아이 하수처리장 (10만톤)을 운영하고 있으며, 북부지역에서 발생하는 하수에 대해 40만톤/일 규모의 '북부' 하수처리장을 운영하고 있다. 또한 서부지역에서 발생하는 하수처리를 위해 32만톤/일 규모의 '선녀하' 하수처리장과, 20만톤/일 규모의 선수이

완 하수처리장(장래 42만톤/일 규모로 증설 예정)을 운영하고 있다. 이 외에도 중국 기술이 최초로 적용된 2만톤/일 규모의 만탕 하수처리장이 운영되고 있다. '북부' 하수처리장은 심양시 서북부에 위치하며 배수처리면적 64 km²의 인구 100만명이 발생시키는 생활하수를 처리하기 위해 40만톤/일의 규모로 총 5.97억 RMB를 투자하여 프랑스(더리만社) 기술력으로 지난 1998년 8월에 건설운영되고 있다. 이곳 하수처리장에 적용된 기술은 원형의 생물반응조에 일반 활성슬러지 공법과 A/O 공법을 운영하고 있다. 장래 계획으로 하수처리장 처리수 20만톤을 3차 처리하여 공장용수로 활용할 계획을 갖고 있다. '선녀하' 하수처리장은 심양시 우흥구 청래로 써어동안에 위치하고 있으며 7.6만 km²의 면적에 24만톤/일의 처리능력을 갖는다. 이 지역은 전체 유입수의 60~70 %를 차지하는 공장폐수와 생활오수가 동시에 유입되는 곳으로, 독일의 담체이용공법을 적용하고 있다.

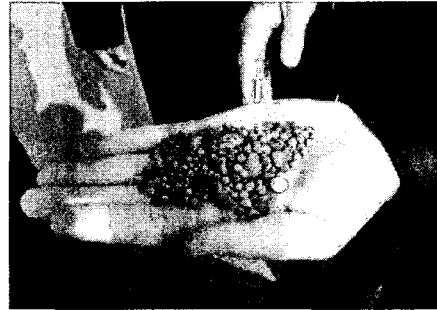


Fig. 3. Media in Shenshi STP

가오춘 지역의 하수처리장은 중국 건설국(Bureau of construction)에서 17백만 RMB를 투자하여 건설한 시설로서 4만톤 규모를 갖는다. '가오춘' 하수처리장의 적용 공법은 A/O 공법으로서 지난 '05. 4월부터 운전되기 시작하였다. 이상의 조사결과를 보듯이, 90년대 중후반 이후로 건설된 중국내 하수처리장은 대부분 질소인 제거가 가능한 고도하수처리공법을 적용하고 있는 것으로 나타났다. 하수발생유역의 특성, 처리용량 및 적용공법 등 각각의 하수처리장별 특성을 비교하면 다음 표 2, 3과 같다.

Table 2. Characteristics of the selected four main STPs

Areas	Name of STPs	Characteristics of catchment	Capacity (m ³ /d)	Process
Nanjing	Jiang Xin Zhou	Urban	640,000	A/O+A ₂ O
Shenyang	Northern Part	Urban	400,000	A/O
	Shenshi estuary	Commercial and Industrial	320,000	Media
Gaochun	Gaochun	Rural	40,000	A/O

Table 3. Operational situations of the four main STPs (Units : mg/L)

Name of STPs	Items	COD	NH ₄	TP	TN	SS	MLSS
Jiang Xin Zhou	Influent	195	21.7	2.52	27.1	-	4,000
	Effluent	62.8	14.2	1.36	19.4	-	
Northern Part	Influent	182	40	-	-	170	2,500
	Effluent	20(30)	8(25)	-	-	17	
Shenshi estuary	Influent	800	100	-	-	125	-
	Effluent	100	80	-	-	20	
Gaochun	Influent	70	18.3	1.44	11.5	-	35
	Effluent	44.2	18.4	1.31	12.2	-	

3.2 공법기술진단
처리효율 비교

사회주의국가라는 중국의 특성상 조사대상 하수처리장의 운전결과자료를 원활하게 제공받기 어려워 자료입수와 해석에 많은 어려움이 있었다. 지역과 규모가 상이한 각 하수처리장별 방류수내 오염물질의 처리효율은 다음 그림 1과 같이 요약할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 농촌지역의 하수처리장인 가오춘 지방을 제외한 대부분의 하수처리장은 COD 성분에 대해서는 약 70~90%의 제거효율을 갖는 것으로 나타났다. 또한 NH₄-N의 경우도 호기조에서의 질산화공정으로 인해 약 35~80%의 제거효율을 나타내는 것을 알 수 있었다. SS의 경우, '북부' 및 '선녀하' 하수처리장은 85% 이상의 높은 제거율을 나타내어 호기조에서의 질산화 기작은 정상적으로 잘 일어나고 있는 것으로 판단되었다. 이와 같은 판단의 근거는 앞선 질소제거기작의 화학적 양론식을 살펴보면, 이론적으로 Nitrosomonas가 0.29gVSS/gNH₄⁺-N를 생성하며, Nitrobacter는 0.084gVSS/gNO₂⁻-N이 생성되는 것으로 계산된다⁶⁾. 그러나 실제 산화에너지 기질 당 세포의 생성율도 낮아

유입수내 포함된 암모니아성 성분의 대부분을 호기조에서의 질산화로 인한 아질산성 질소와 질산성 질소로의 물질전환결과로 받아들여도 될 것으로 사료된다.

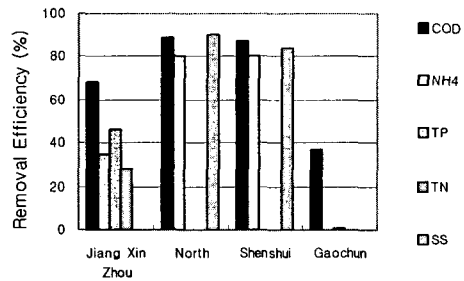


Fig. 4. Comparison of removal efficiency for each STPs

C/N 및 C/P ratio

앞서 언급했듯이, 조사대상 하수처리장들은 모두 고도하수처리공법을 채택하고 있어, 정상적으로 운영될 경우, 유입 하수 내 질소와 인 성분의 제거가 가능하다. 하지만, 원활한 질소인 제거를 위해서는 유입 하수 내 탄소원과 제거대상물질인 질소와 인 성분 간의 비율이 매우 중요하다. 고도처리공법에서는 질소제거의 관점에서는 무산소 조건에서의

탈질시 외부 탄소원으로, 인 제거의 관점에서서는 혐기조건에서 인 방출의 극대화를 이루기 위해서 반드시 충분한 외부 탄소원을 필요로 한다. 즉, 이 과정 중 어느 한 과정에서라도 활용 가능한 외부탄소원의 결핍현상이 발생하게 되면 해당 하수처리공법이 고도처리공법이라 할지라도 정상적인 질소인 제거 효율을 기대할 수 없다. 금번 조사대상 하수처리장의 C/N비와 C/P에 대한 결과는 다음 그림 5와 같다. A/O와 A₂O 계열 공법의 경우 최적효율을 유지하기 위한 적정 C/N비는 약 11 정도로 알려져 있으며, 낮은 C/N에서도 상대적으로 높은 효율을 보이는 부착성 미생물 이용 공정의 경우도 약 5 이상을 권유하고 있다⁷⁾. 그림 5에서 보는 바와 같이, 대부분의 하수처리장 유입수내 C/N비는 고도처리공법의 정상운영에 어려움을 유발할 수 있는 수준으로, 특히 '북부' 하수처리장과 '가오춘' 하수처리장의 경우 안정적 처리효율의 확보를 위해서 공정변환 또는 별도 외부탄소원의 주입 방안 등을 검토하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

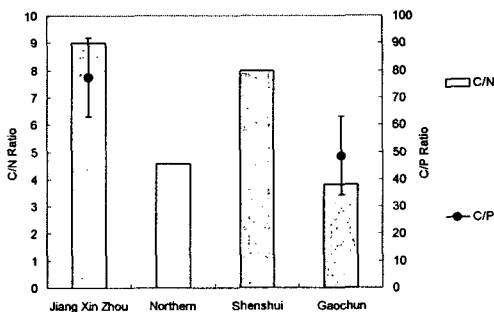


Fig. 5. Comparison of C/N and C/P ratio in influent for each STPs

O&M 평가

하수처리장의 최적운전과 안정적 처리효

율을 유지하기 위해서는 적정설계와 설계기준을 따르는 시설건설 및 HRT, SRT, 유입유량 또는 수온변화 등에 대한 대응운전여부, 그리고 운영관리를 위한 현대적 장비와 전문인력의 보유 등 다양하고도 적절한 총괄적 운전관리 (O&M Systems)체계가 수립되어 있어야 한다. 상업폐수와 공장폐수가 유입되고 있는 '선너하' 하수처리장의 경우, 여재(Media) 표면에 부착성 미생물을 이용한 하수처리공법을 적용하고 있으나 공법에 대한 이해부족으로 인해 2시간도 안 되는 HRT로 운영되고 있었다. 공장폐수의 유입에 따른 높은 부하량과 짧은 HRT로 인해 여재표면에 미생물이 증식이 어려워 질소와 인 계열의 처리효율은 거의 제로에 가까웠으며 부족한 미생물로 인한 공정 내 White forming 현상이 나타나고 있었다(Fig. 6). 그럼에도 불구하고 유기물과 SS의 제거효율이 높은 것은 반응조내 충전되어 있는 여재로 인해 생물학적 기작 이외에 흡착과 여과 기작이 함께 나타나는 결과로 판단된다.



Fig. 6. White forming in Shenshui STP

농촌지역에서 운영되는 소규모 하수처리장인 '가오춘' 하수처리장은 고도하수처리공법이 적용되었음에도 불구하고 운영인력의 비전문성과 운영·관리의 미숙으로 하수처리장으로서의 기능을 전혀 수행하지 못하고 있었

다. 특히, 초기 하수처리장 가동 단계에서의 미생물 식종 없이 운전된 '가오춘' 하수처리장은 반응조 내 미생물량이 거의 전무한 상태에서 운전되고 있었다 (Table 3). 이러한 결과로 인해 '가오춘' 하수처리장에서도 공정내 White forming 현상을 확인 할 수 있었다 (Fig. 7).

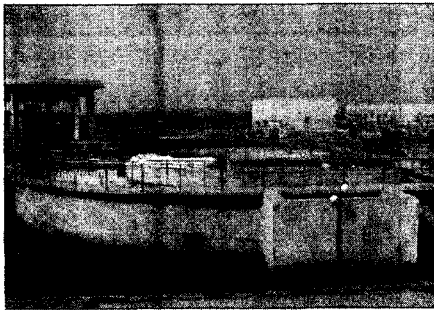


Fig. 7. White forming in Gaochun STP

III. 결과 및 고찰

기술평가 결과

고도하수처리공법이 적용된 조사대상 하수처리장들에 대한 공정 및 기술평가 결과, 하수처리장의 방류수 수질은 처리대상지역의 발생하수특성과 깊은 관련이 있는 것으로 사료되었다. 또한 하수처리장 유입수 특성은 국내 하수와 유사한 추이를 나타내는 것으로 판단되었는데, 그중에서도 강우사상에 의한 하수처리장 유입유량 변동과 낮은 C/N비로 인한 고도처리공법의 정상운영 어려움 등은 현재 적용된 고도하수처리공법의 원활한 운영을 위해 유량조정 및 외부탄소원 주입방안 등의 대안이 필요한 것으로 사료된다. 이 외에도 획일적 공법의 적용을 지양하고 해당지역의 하수발생특성을 고려한 공법의 선정과 운영이 필요할 것으로 판단된다.

O&M평가 결과

하수처리장의 운영인력과 운전현황에 대한 진단결과 '장진 조우'와 '북부' 하수처리장은 타 지역 하수처리장에 비해 비교적 양호한 인력과 운영관리 수준을 보유하고 있는 것으로 판단되었다. 특히, 해당 하수처리장의 최적운전을 위해 총 180여명이 근무하고 있는 '북부' 하수처리장의 운전상태가 가장 양호한 것으로 판단되었다. 반면, 해당 하수처리공정에 대한 이해부족과 비정상적인 운전으로 인해 처리효율이 저조한 '선너하' 하수처리장과 '가오춘' 하수처리장의 경우 전문인력의 투입과 시설개선 등 시급한 조치를 필요할 것으로 사료되었다.

IV. 결론

중국의 하수처리장 운영과 관리능에 대한 기술적 평가결과 정리하면 다음과 같다.

1. 최근 건설·운영 중인 하수처리장은 대부분이 고도하수처리공법이 적용되고 있으나, 낮은 유기물 부하와 하수발생지역의 특수성 등으로 인해 하수처리장 정상운전에 어려움이 많은 것으로 나타났다.
2. 하수발생지역이 광범위 하고 도심지에 위치한 대형 하수처리장의 경우, 풍부한 지원과 시설, 운영인력의 구비 등으로 인해 안정적인 방류수질을 확보 할 수 있는 반면,
3. 농촌 또는 중소규모의 하수처리장은 전문인력의 부재와 비정상적 운전으로 인한 하수처리장으로서의 기능상실을 확인 할 수 있었다.

4. 하수처리장의 건설 이외에도 관거신설 및 유지/보수, 전문인력 확보 및 교육운영에 따른 운영관리능의 극대화 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김연권, 서인석, 안효원 : 중국 중·남부 지역의 하수도 현황과 문제점, 대한토목학회지, 54권, 2호, 126-131, 2006.
2. UNEP/K-water : Guidelines for Sanitation Management in Asia and Africa, K-water, 2006.
3. Kim, Y. K. : Respirometric monitoring of

microbial behavioral characteristics change through the retrofitting process, Hanyang Univ., Ph. D. thesis, 2003.

4. Baranard, J. L. : Cut Pand N Without Chemicals, Water Res. Eng. Vol.11, No.13, 1974.

5. Mino, T., M. C. Van Loosdrecht and J.J. Heijnen : Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process, Wat. Res. Vol.32, No.11, 1998.

6. US EPA Manual: Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010, 1993.

7. Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering, 3rd edition, McGraw-Hill, Inc., 1991.